

Kesan Halaju Putaran Gilapan Terhadap Peratus Potongan Hujung Sisi Pandu Gelombang Polimer SU-8 di atas Substrat Silikon

Mohammad Syuhaimi Ab Rahman¹, Fazlinda Ab Aziz¹, Noor Azie Azura Mohd Arif¹, Abang Anuar Ehsan² dan Kasmiran Jumari¹

¹Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Elektronik dan Sistem,
Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina,
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi, Selangor,
Malaysia

²Makmal Teknologi Fotonik,
Institut Kejuruteraan Mikro dan Nanoteknologi (IMEN),
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi, Selangor,
Malaysia
E-mail: syuhaimi@vlsi.eng.ukm.my

Received Date: 17th February 2009

Accepted Date: 3rd July 2009

ABSTRAK

Kajian ini memfokuskan kepada ciri-ciri gilapan bagi pandu gelombang polimer. Tujuan utamanya adalah untuk mengkaji bagaimana halaju putaran gilapan memberi kesan kepada panjang terpotong permukaan hujung sisi pandu gelombang polimer SU-8 di atas substrat silikon. Terdapat tujuh set halaju putaran yang dikenakan iaitu 50, 100, 150, 200, 250, 300 dan 350 rpm. Dari keputusan yang diperoleh, dapat disimpulkan bahawa peratus potongan bagi setiap halaju putaran adalah $\leq 0.5\%$ (50 rpm), 0.6 – 1.0 % (100 rpm), 3.8 – 4.8 % (150 rpm), 7.7 – 10.6 % (200 rpm), 15.7 – 18.3% (250 rpm), 25.6 – 27.4 % (300 rpm) dan 40.0 – 43.7 % (350 rpm).

Kata Kunci: Halaju putaran, polimer su-8, panjang terpotong, pandu gelombang planar.

ABSTRACT

This research have focused on polishing characterize of polymer based waveguides. The aims of this research are to study how polishing rotation speeds affect the length of cut end face SU-8 polymer on silicon substrate. There are seven sets of rotation velocities which are 50, 100, 150, 200, 250, 300, and 350 rpm. From the obtained result, it can be concluded that percentage of cut length for each rotation velocity is $\leq 0.5\%$ (50 rpm), 0.6 – 1.0 % (100 rpm), 3.8 – 4.8 % (150 rpm), 7.7 – 10.6 % (200 rpm), 15.7 – 18.3% (250 rpm), 25.6 – 27.4 % (300 rpm) and 40.0 – 43.7 % (350 rpm).

Keywords: Rotation speed, polymer su-8, length of cut, planar waveguide.

PENGENALAN

Kecekapan pandu gelombang dipengaruhi oleh struktur permukaan hujung sisinya. Kualiti permukaan yang terbaik diperlukan untuk proses pencantuman antara gentian optik dan pandu gelombang bagi meningkatkan kecekapan antaramuka gentian optik dan pandu gelombang. Ini menunjukkan bahawa perlunya satu proses gilapan terbaik untuk mengoptimumkan prestasi dan kecekapan pandu gelombang tersebut. Walau bagaimanapun, masih belum terdapat sebarang rujukan mengenai kadar gilapan pandu gelombang. Maka, kajian ini dilakukan untuk mengenalpasti kesan halaju putaran gilapan terhadap panjang terpotong permukaan hujung sisi pandu gelombang polimer SU-8 di atas substrat silikon.

Kajian Kepustakaan

a) Pandu Gelombang Polimer.

Bahan polimer membantu perkembangan penghasilan litar-litar fotonik di atas substrat planar (Eldada 2002). Peranti optik bersepadu berasaskan polimer yang mengandungi elemen-elemen pasif dan aktif digunakan dalam pelbagai fungsi gandingan, penghalaan, penurasan dan pensuisan. Kebanyakan aplikasi pandu gelombang polimer digunakan dalam bidang komunikasi optik (Tamaki et al. 2003; Uddin et al. 2006; Uddin et al. 2009 & Francesco et al. 2007). Proses pembuatan pandu gelombang polimer lebih mudah dan cepat jika dibandingkan dengan proses bagi menghasilkan pandu gelombang silika. Kebiasaannya, pembuatan pandu gelombang silika mengambil masa yang lama dan melibatkan langkah-langkah fabrikasi yang banyak. Hasilnya pula kurang kualiti dan merosakkan tegasan-teraruh dwibiasan.

Pemalar optik-termo adalah kunci kepada aplikasi polimer. Pemalar optik-termo merupakan perubahan pada indeks biasan per perubahan suhu. Polimer mempunyai pemalar termo-optik negatif yang besar ($dn/dT = -1 \times 10^{-4} \sim -4 \times 10^{-4}$) iaitu sepuluh hingga empat puluh kali lebih tinggi daripada bahan-bahan optik biasa seperti kaca (Keuren 2006). Sifat lutsinar polimer optik sangat tinggi, dengan kehilangan resapan di bawah 0.2 dB/cm pada seluruh panjang gelombang komunikasi (840 nm, 1310 nm dan 1550 nm) (Eldada 2002). Kehilangan penyerakan dalam pandu gelombang polimer boleh diminimumkan

dengan cara mengoptimumkan kaedah punaran ketika fabrikasi pandu gelombang. Bertentangan dengan teknologi kaca planar, teknologi polimer ini boleh direkabentuk bagi penghasilan lapisan bebas tegasan tanpa mengira komposisi substrat yang biasanya terdiri daripada silikon, kaca, kuarza, plastik atau papan litar bercetak dengan epoksi yang dipenuhi kaca.

Polimer SU-8 mempunyai banyak kelebihan berbanding polimer yang lain disebabkan kos yang murah dan mempunyai ciri-ciri optik yang baik (Eldada 2002, Hunsperger 1982, Rubin 2003, Tamaki et al. 2003, Tang et al. 2005, Ma et al. 2006, Beals et al. 2009, Nakai et al. 2001, Yu et al. 2004, Tang et al. 2004, Liu et al. 2006 & Ohkita et al. 2005). SU-8 peka terhadap pencahayaan alur elektron. Oleh kerana itu, kebanyakan peranti-peranti yang terbaik dihasilkan dari bahan ini. Bahan ini turut digunakan dalam sistem mikro-elektro-mekanikal (MEMS) (Schumacher et al. 2008; Roach et al. 2007; Chang 2009 & Wen et al. 2008), SU-8 fotorintangan (PR), modulator (Hyun 2003), peranti bendalir mikro (Roman et al. 2006), mikro transduser (Wen 2006), Interferometer Sensor Ammonia (Bednorz et al. 2006), Mikro-Biosensor Interferometer (Esinenco et al. 2005) dan Interferometer Mach-Zehnder (Pelletier et al. 2005).

b) Kehilangan Dalam Pandu Gelombang Optik.

Kehilangan dalam pandu gelombang optik biasanya melibatkan tiga mekanisme utama iaitu serakan, serapan dan sinaran. Kehilangan dalam bentuk serakan biasanya berlaku pada pandu gelombang kaca dan pandu gelombang dielektrik. Kehilangan dalam bentuk serapan pula banyak berlaku pada bahan semikonduktor dan bahan yang terdiri daripada kristal. Kehilangan sinaran hanya berlaku apabila pandu gelombang membengkok atau melengkung (Hunsperger 1982).

i. Kehilangan Secara Serakan

Kehilangan serakan boleh dikategorikan kepada dua jenis iaitu serakan isipadu dan serakan permukaan. Serakan isipadu terhasil daripada ketidak sempurnaan dalam isipadu pandu gelombang. Namun yang demikian, nilai ketidaksempurnaan isipadu terlalu kecil jika dibandingkan dengan kehilangan disebabkan oleh serakan permukaan dan ianya boleh

diabaikan. Kehilangan serakan permukaan boleh berlaku walaupun pada permukaan pandu gelombang yang rata dan licin, terutamanya pada mod tertib tinggi. Ini disebabkan gelombang yang merambat dipengaruhi oleh permukaan pandu gelombang. Gelombang yang melalui kawasan pandu mengalami pantulan. Bilangan pantulan bagi setiap permukaan boleh ditakrifkan seperti persamaan 1 (Hunsperger 1982).

$$N_R = \frac{L}{2t_g \cot \theta_m} \quad (1)$$

Di mana N_R merupakan bilangan pantulan, L adalah panjang bagi pandu gelombang, t_g ialah ketebalan pandu gelombang dan θ_m merupakan sudut cahaya.

ii. Kehilangan Secara Serapan

Kehilangan secara serapan yang berlaku di dalam amorfus filem nipis dan juga di dalam bahan feroelektrik berhablur seperti Litium Niobium Trioksida (LiNbO_3) adalah sedikit jika dibandingkan dengan kehilangan serakan kecuali jika atom telah tercemar.

iii. Kehilangan Secara Sinaran

Kesan sinaran boleh menyebabkan mod pandu gelombang kehilangan kuasa optik dimana, foton terpancar ke kawasan media menyebabkan pandu gelombang tidak lagi dipandu. Sinaran

boleh berlaku pada pandu gelombang planar dan juga pada pandu gelombang saluran (Hunsperger 1982).

METODOLOGI

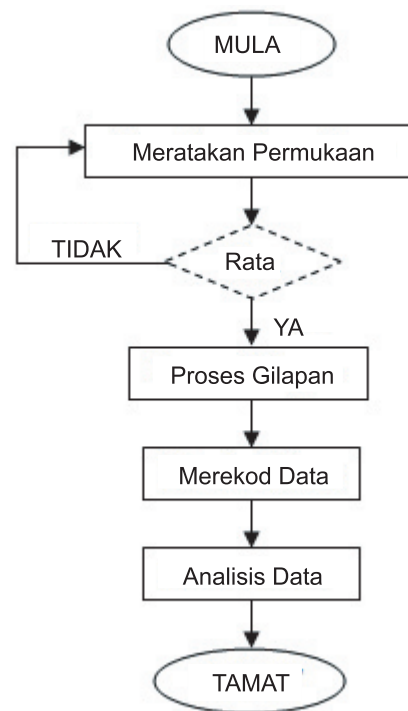
Bahan yang digunakan dalam ujikaji adalah pandu gelombang planar yang berasaskan polimer SU-8 dengan silikon sebagai substrat. Tiga sampel digunakan dalam ujikaji bagi mendapatkan kadar gilapan seperti yang disenaraikan dalam Jadual 1. Sampel-sampel ini dibezakan berdasarkan ujikaji yang dijalankan ke atasnya. Parameter utama yang dikaji dalam ujikaji ini adalah kelajuan putaran. Sebanyak tujuh putaran yang berbeza digunakan iaitu 50 rpm, 100 rpm, 150 rpm, 200 rpm, 250 rpm, 300 rpm dan 350 rpm. Sebanyak tiga saiz kertas pasir yang diubah dalam proses gilapan ini iaitu kertas pasir dengan kekasaran permukaan 1 μm , 0.5 μm dan 0.3 μm .

Carta Alir

Carta alir dibentuk bagi menunjukkan aliran proses atau peringkat yang dijalankan bagi menyempurnakan ujikaji iaitu mendapatkan kadar gilapan pandu gelombang polimer SU-8 di atas substrat silikon. Carta alir ini ditunjukkan seperti dalam Rajah 1.

Jadual 1. Sampel-sampel Ujikaji

Sampel	Saiz Kertas Pasir (μm)	Masa Putaran (min)			
1	1.0	5	10	15	20
2	0.5	5	10	15	20
3	0.3	5	10	15	20



Rajah 1. Carta Alir Ujikaji

HASIL DAN PERBINCANGAN

Data-data yang diperolehi dari ujikaji bagi mendapatkan kadar gilapan pandu gelombang polimer SU-8 diatas substrat silikon, telah dikumpulkan dan dijadualkan. Graf kadar gilapan terhadap halaju bagi sampel 1 hingga sampel 3 diplot. Jadual 2, Jadual 3 dan Jadual 4 menunjukkan perubahan terhadap panjang terpotong sisi pandu gelombang ketika proses gilapan dilakukan dengan menggunakan kertas pasir bersaiz 1.0 μm , 0.5 μm dan 0.3 μm masing-masing dengan masa 5 min, 10 min, 15 min dan 20 min. Jadual 5, Jadual 6 dan Jadual 7 pula merupakan hasil analisis bagi ketiga-tiga sampel. Hasil analisis dapat diperhatikan berdasarkan Rajah 2, Rajah 3 dan Rajah 4. Ketiga-tiga rajah mempamerkan graf panjang terpotong melawan halaju putaran. Pemerhatian yang didapati, panjang terpotong meningkat apabila halaju putaran meningkat. Setelah dianalisa daripada graf yang diplotkan, kadar gilapan pandu gelombang polimer SU-8 diatas substrat silikon meningkat dengan peningkatan masa, halaju putaran dan juga penggunaan saiz kertas pasir. Keseluruhan peratus potongan yang dapat diperhatikan daripada kajian adalah hampir

sama bagi setiap penggunaan parameter yang sama digunakan. Peratus potongan bagi setiap halaju putaran dengan masa dan saiz kertas pasir yang berbeza adalah 50 rpm : $\leq 0.5\%$, 100 rpm : 0.6 – 1.0 %, 150 rpm : 3.8 – 4.8 %, 200 rpm : 7.7 – 10.6 %, 250 rpm : 15.7 – 18.3%, 300 rpm : 25.6 – 27.4 % dan 350 rpm : 40.0 – 43.7 %. Analisa daripada peratus potongan menjelaskan bahawa halaju putaran yang tinggi, masa yang lama dan juga penggunaan saiz kertas pasir yang lebih kasar menyebabkan peratus potongannya meningkat dan seterusnya menjimatkan masa bagi proses gilapan. Penghasilan proses gilapan yang terbaik adalah dengan memilih parameter yang sesuai digunakan bagi mengelakkan kawasan permukaan polimer SU-8 terkoyak, retak serta menjejaskan kualiti permukaan polimer dan seterusnya menyebabkan pelbagai jenis kehilangan dalam pandu gelombang yang dihasilkan. Kajian Arif et al. 2008, menunjukkan halaju putaran yang terbaik bagi menghasilkan permukaan polimer SU-8 yang licin dan menjimatkan masa bagi proses gilapan adalah 200 rpm dengan saiz kertas pasir 0.3 μm dalam masa 15 min. Permukaan polimer SU-8 ini akan menghasilkan mutu yang kurang baik sekiranya halaju putaran lebih tinggi digunakan.

Jadual 2. Kadar Gilapan Sampel 1 Terhadap Halaju (menggunakan kertas pasir bersaiz 1.0 μm)

Halaju Putaran (rpm)	Panjang Terpotong (μm) 5 min	Panjang Terpotong(μm) 10 min	Panjang Terpotong(μm) 15 min	Panjang Terpotong(μm) 20 min
50	4	10	15	20
100	9	22	31	38
150	43	100	152	180
200	95	184	275	372
250	177	350	506	671
300	275	562	840	1106
350	464	925	1400	1850

Jadual 3. Kadar Gilapan Sampel 2 Terhadap Halaju (menggunakan kertas pasir bersaiz 0.5 μm)

Halaju Putaran (rpm)	Panjang Terpotong (μm) 5 min	Panjang Terpotong(μm) 10 min	Panjang Terpotong(μm) 15 min	Panjang Terpotong(μm) 20 min
50	0	3	5	6
100	5	10	15	18
150	20	45	65	87
200	45	89	132	163
250	86	175	250	349
300	145	288	426	580
350	230	450	685	912

Jadual 4. Kadar Gilapan Sampel 3 Terhadap Halaju (menggunakan kertas pasir bersaiz 0.3 μm)

Halaju Putaran (rpm)	Panjang Terpotong (μm) 5 min	Panjang Terpotong(μm) 10 min	Panjang Terpotong(μm) 15 min	Panjang Terpotong(μm) 20 min
50	0	1	2	4
100	3	4	7	11
150	15	30	46	55
200	33	64	100	127
250	50	110	165	228
300	81	173	252	320
350	130	255	394	504

Jadual 5. Hasil analisis bagi sampel 1 penggunaan kertas pasir 1.0 µm

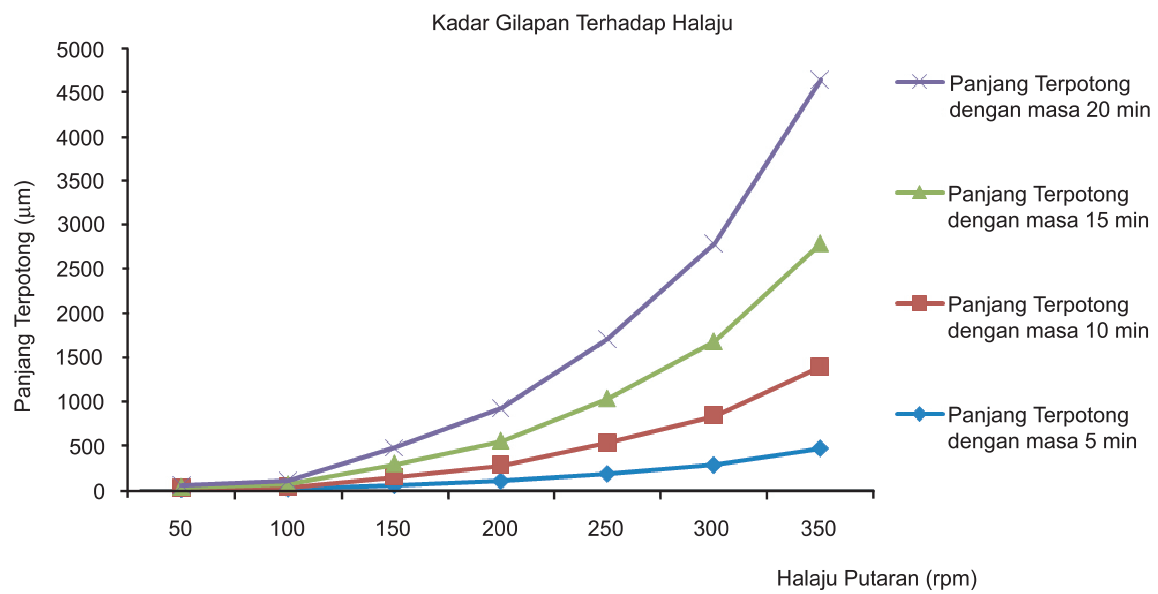
Halaju Putaran (rpm)	Persamaan			
	$y = 0.0051x^2 - 0.5292x$	$y = 0.0101x^2 - 1.0118x$	$y = 0.0154x^2 - 1.5912x$	$y = 0.0205x^2 - 2.153x$
	Jumlah Potongan			
	1067 µm	2153 µm	3219 µm	4237 µm
Peratus Potong (%)				
50	0.4	0.5	0.5	0.5
100	0.8	1.0	1.0	0.9
150	4.0	4.6	4.7	4.2
200	8.9	8.5	8.5	8.8
250	16.6	16.3	15.7	15.8
300	25.8	26.1	26.1	26.1
350	43.5	43.0	43.5	43.7

Jadual 6. Hasil analisis sampel 2 bagi penggunaan kertas pasir 0.5 µm

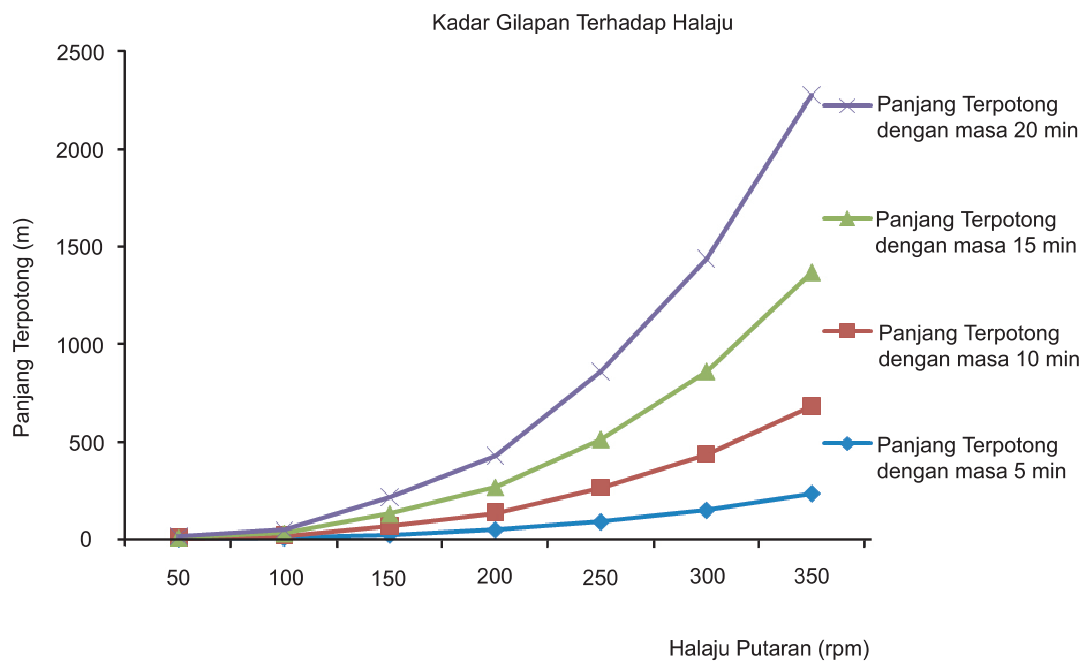
Halaju Putaran (rpm)	Persamaan			
	$y = 0.0026x^2 - 0.2796x$	$y = 0.005x^2 - 0.5046x$	$y = 0.0077x^2 - 0.8209x$	$y = 0.0104x^2 - 1.1085x$
	Jumlah Potongan			
	531 µm	1060 µm	1578 µm	2115 µm
Peratus Potong (%)				
50	0.0	0.3	0.3	0.3
100	0.9	0.9	1.0	0.9
150	3.8	4.2	4.1	4.1
200	8.5	8.4	8.4	7.7
250	16.2	16.5	15.8	16.5
300	27.3	27.2	27.0	27.4
350	43.3	42.5	43.4	43.1

Jadual 7. Hasil analisis sampel 3 bagi penggunaan kertas pasir 0.3 µm

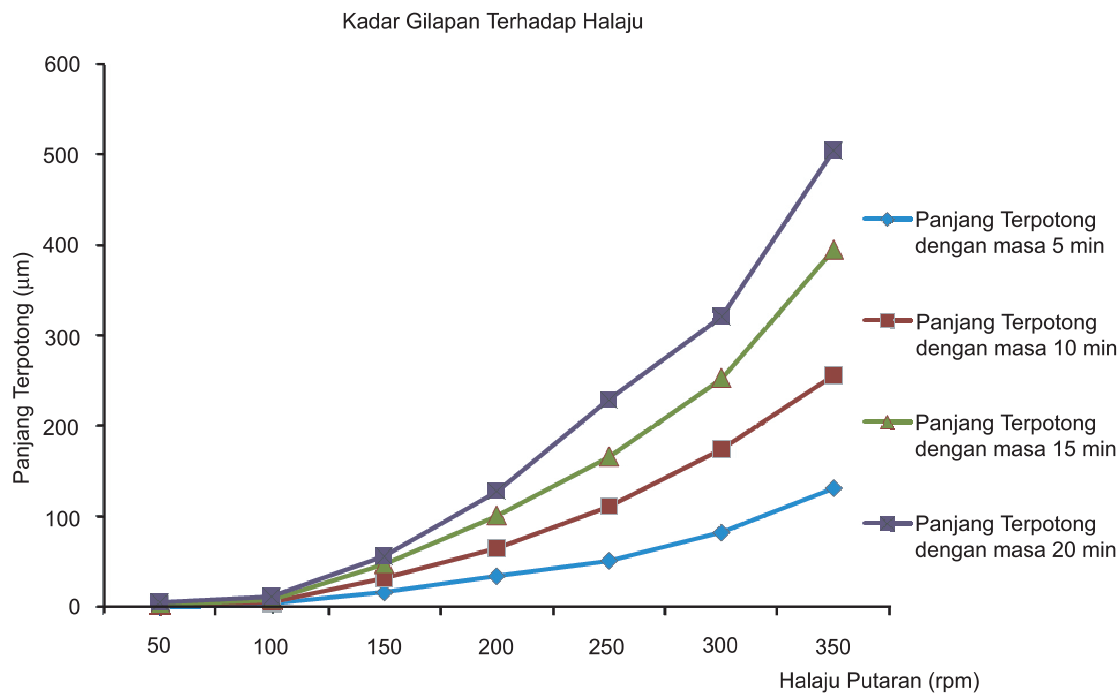
Halaju Putaran (rpm)	Persamaan			
	$y = 0.0014x^2 - 0.1186x$	$y = 0.0027x^2 - 0.2153x$	$y = 0.0041x^2 - 0.3352x$	$y = 0.0052x^2 - 0.4036x$
	Jumlah Potongan			
	312 µm	637 µm	966 µm	1249 µm
Peratus Potong (%)				
50	0.0	0.2	0.2	0.3
100	0.9	0.6	0.7	0.9
150	4.8	4.7	4.8	4.4
200	10.6	10.0	10.4	10.2
250	16.0	17.3	17.1	18.3
300	26.0	27.2	26.1	25.6
350	41.7	40.0	40.8	40.3



Rajah 2. Graf panjang terpotong melawan halaju putaran bagi penggunaan kertas pasir 1.0μm



Rajah 3. Graf panjang terpotong melawan halaju putaran bagi penggunaan kertas pasir 0.5μm



Rajah 4. Graf panjang terpotong melawan halaju putaran bagi penggunaan kertas pasir 0.3µm

KESIMPULAN

Setelah menjalankan ujikaji bagi mendapatkan kadar gilapan pandu gelombang polimer SU-8 diatas substrat silikon, dapat disimpulkan bahawa peratus potongan bagi setiap halaju putaran adalah 50 rpm : $\leq 0.5\%$, 100 rpm : $0.6 - 1.0\%$, 150 rpm : $3.8 - 4.8\%$, 200 rpm : $7.7 - 10.6\%$, 250 rpm : $15.7 - 18.3\%$, 300 rpm : $25.6 - 27.4\%$ dan 350 rpm : $40.0 - 43.7\%$. Julat peratus potongan yang diperolehi adalah bagi proses gilapan yang menggunakan kertas pasir Aluminium Oksida yang bersaiz $1.0\ \mu\text{m}$, $0.5\ \mu\text{m}$ dan $0.3\ \mu\text{m}$. Maka, penggunaan peratusan perlu mengambil kira saiz kertas pasir yang digunakan.

Halaju putaran yang tinggi mempunyai kelebihan dalam penjimatan masa gilapan tetapi

ia memberi keburukan pada kualiti permukaan dan akan menyebabkan pelbagai kehilangan dalam pandu gelombang meningkat. Objektif utama kajian ini iaitu mengkaji bagaimana kesan kadar gilapan terhadap halaju memberi kesan kepada panjang potongan permukaan hujung sisi pandu gelombang dan menganalisa data hasil gilapan bagi pandu gelombang polimer SU-8 telah dicapai.

PENGHARGAAN

Projek ini telah dijalankan di Makmal Teknologi Fotonik di Institut Mikro Kejuruteraan dan Nanoelektronik (IMEN).

RUJUKAN

- Arif, N.A.A, Rahman, M.S.A., Aziz, F.A. 2008. Determining the Best Polishing Method for Polymer SU-8 Waveguide. *Proceedings of 2008 Student Conference on Research and Development*, pp. 107-1 - 107-3.
- Beals, J., Bamiedakis, N., Wonfor, A., Pentry, R.V., White, I. H., Degroot, J.V., Hueston, K., Clapp, T.V., Glick, M. 2009. *A terabit capacity passive polymer optical backplane based on a novel meshed waveguide architecture*. Springer.
- Bednorz, M., Urbaczyk, M., Pustelny, T., Piotrowska, A., Papis, E., Sidor, Z. & Kamińska, E. 2006. Application of SU 8 Polymer in Waveguide Interferometer Ammonia Sensor. *Molecular and Quantum Acoustics* 27: 31-39.
- Chang, W.C., Yarn, K.F., Chuang, W.C. 2009. Polymer nano bragg grating waveguide using mems process. *Journal of nanomaterials and biostructures* 4: 199-204.
- Eldada, L. 2002. Polymer integrateoptics: Promise vs. practicality. *Proc. SPIE*. 4642: 11-22.

- Hunsperger, R.G. 1982. Integrated optics: theory and technology. *Springer series in optical sciences*. Vol. 33. Berlin: Springer-Verlag.
- Esinenco, D., Psoma, S. D., Kusko, M., Schneider, A., & Muller, R. 2005. SU-8 Micro-biosensor Based on Mach-Zehnder Interferometer. *Rev. Adv. Mater. Sci.* 10: 295-299.
- Francesco, D., Vittorio, M. N. P., Francesco, D. L. 2007. Simulation of a high speed interferometer optical modulator in polymer materials. *J Comput Electron* 6: 297-300.
- Hyun, C. S., Min, C. O., She, W. A., William, H. S., Harold, R. F., Cheng, Z. 2003. Flexible low-voltage electro-optic polymer modulators. *Applied Physics Letters* 82 (25). 4432-4434.
- Liu, Z., Yu, J., Zhu, D. 2006. Design of a new type of electro-optic polymer waveguide modulator with ultrahigh bandwidth, *International Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 27 (5): 707-724.
- Liu, Z., Zhu, D. 2005. A low loss electro optic waveguide polymer modulator and its optimization design. *Optical and Quantum Electronics* 37: 949-963.
- Ma, C., Keuren, E. V. 2006. New design of a beam steering thermo-optic multimode polymer waveguide switch. *Appl. Phys. B* 85: 619-623.
- Nakai, T., Ueno, Y., Kaneko, K., Tanahashi, S., Takeda, S. 2001. A siloxane polymer lightwave circuit on ceramic substrate applicable to ultrafast optoelectronic multi-chip-modules. *Optical and Quantum Electronics* 33: 1113-1124.
- Ohkita, H., Ishibashi, K., Tsurumoto, D., Tagaya, A., Koike, Y. 2005. Compensation of the photoelastic birefringence of a polymer by doping with an anisotropic molecule, *Appl. Phys A* 81: 617-620.
- Pelletier, N., Beche, B., Tahani, N., Camberlein, L., Gaviot, E., Goullet, A., Landesman, J. P. & Zyss, J. 2005. Integrated Mach-Zehnder Interferometer on SU-8 Polymer for Designing Pressure Sensors. *IEEE.O-7803-9056-3*.
- Roman, V., Fernandez, L. J., Maria, A., Javier, B., Jesus, M. R., Kepa, M. & Francisco, J. B. 2006. Flexible And Biocompatible Polymer Microfluidic Devices With Integrated Electrodes Based on A CMOS Compatible Technology. *Microsystems and their Fabrication*.
- Roach, P., Atherton, S., Doy, N., McHale, G., & Michael, I. N. 2007. SU-8 Guiding Layer for Love Wave Devices. *Sensors* 7: 2539-2547.
- Rubin, R. 2003. *Fiber optic connectors: Meeting polishing demands* [http://www.ultratecusa.com/PDFlibrary/Fiber Photonics1103.pdf](http://www.ultratecusa.com/PDFlibrary/Fiber%20Photonics1103.pdf) [2nd October 2008].
- Schumacher, J. T., Grodrian, A., Kremin, C., Hoffmann, M. & Metze, J. 2008. Hydrophobic coating of microfluidic chips structured by SU-8 polymer for segmented flow operation. *J. Micromech. Microeng.* 18: 055019.
- Tamaki, K., Takase, H., Eriyama, Y. & Ukachi, T. 2003. Recent Progress on Polymer Waveguide Materials. *Journal of Photopolymer Science and Technology* 16: 639-648.
- Tang, H. Y., Wong, W. H., Pun, E. Y. B. 2004. Long period polymer waveguide grating device with positive temperature sensitivity. *Appl. Phys. B* 79: 95-98.
- Tung, K. K., Wong, W. H., Pun, E. Y. B. 2005. Polymeric optical waveguides using direct ultraviolet photolithography process. *Appl. Phys. A* 80: 621-625.
- Uddin, M. A., Chan, H. P. 2009. The challenges in the fabrication of reliable polymer photonic devices. *J. Mater Sci: Mater Electron* 20: S277-S281.
- Uddin, M. A., Ho, W. F., Chow, C. K., Chan, H. P. 2006. Interfacial adhesion of spin-coated thin adhesive film on silicon substrate for the fabrication of polymer optical waveguide. *Journal of Electronic Materials* 35: 1558-1565.
- Wen, D., & Wanjun, W. 2008. Fabrication of comb-drive micro-actuators based on UV lithography of SU-8 and electroless plating technique. *Microsyst Technol* 14: 1745-1750.
- Wen, D. 2006. Design And Fabrication of Micro Transducers Using Cured SU-8 Polymer As Main Structural Material. Thesis PhD: Louisiana State University.
- Yu, H. H., Hwang, S. J. 2004. Investigations of the E-O behavior in the poled polymer waveguide. *Optical and Quantum Electronics* 36: 1303-1311.

